

- and its comparison with other methods / V.Z. Manusov, E.V. Biryukov // Bulletin of the Tomsk polytechnic university. – Tomsk, 2006. – № 6, vol. 309. – P. 153-158. (Rus.)
4. Zhezhelenko I.V. Methods of probabilistic modeling in the calculation of the characteristics of electric loads of customers / I.V. Zhezhelenko, Y.L. Sayenko, V.P. Stepanov. – M.: Energoatomizdat, 1990. – 128 p. (Rus.)
 5. Sergienko A.B. Digital signal processing : tutorial / A.B. Sergienko. – SPb.: BHV-Petersburg, 2011. – 768 p. (Rus.)
 6. Solonina A.I. Digital signal processing. Modeling in MATLAB / A.I. Solonin, S.M. Arbuzov. – SPb.: BHV-Peterburg, 2008. – 816 p. (Rus.)
 7. Haykin S. Neural networks: a complete course / S. Haykin. – M.: Publishing house «Williams», 2006. – 1104 p. (Rus.)
 8. Medvedev V.S. Neural network. MATLAB 6 / V.S. Medvedev, V.G. Potemkin. – M.: DIALOG-MIFI, 2001. – 630 p. (Rus.)
 9. Chetyrkin E.M. Statistical methods of forecasting / E.M. Chetyrkin. – M.: Statistica, 1977. – 200 p. (Rus.)
 10. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics: Textbook for high schools / V.E. Gmurman. – M.: Vysshaya shkola, 2003. – 479 p. (Rus.)
 11. Makarov E. Engineering calculations in Mathcad 15 : training course / E. Makarov. – SPb.: Piter, 2011. – 400 p. (Rus.)

Рецензент: И.В. Жежеленко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила

УДК 621.322.313

© Шевченко В.В.¹, Масленников А.М.²

СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СНИЖЕНИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Для поддержания конкурентоспособности отечественных турбогенераторов (ТГ) необходимо вести работы по снижению удельного массогабаритного параметра (кг/кВт) в двух направлениях: выполнение соответствующих инженерно-проектировочных и расчетно-конструкторских работ с учетом возможности обеспечения необходимыми технологическими процессами на предприятии-изготовителе и с учетом экономичности решений и целесообразности финансовых затрат. Получена структурно-логическая схема технических требований к проектированию современных ТГ, которая включает три аспекта: проектный, эксплуатационный и экономический.

Ключевые слова: турбогенератор, конкурентоспособность, удельные массогабаритные параметры, структурно-логическая схема.

Шевченко В.В., Масленников А.М. Структурно-логічна схема зниження масогабаритних параметрів турбогенераторів. Для підтримки конкурентоспроможності вітчизняних турбогенераторів (ТГ) необхідно вести роботи по зниженню питомих масогабаритних параметрів (кг/кВт) в двох напрямках: виконання відповідних інженерно-проектувальних і розрахунково-конструкторських робіт з урахуванням можливості забезпечення необхідними технологічними процесами на під-

¹ канд. техн. наук, доцент, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, zurbagan@mail.ru

² канд. техн. наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, x-maslennikov@yandex.ua

присмстві-виробнику та з урахуванням економічності рішень і доцільності фінансових витрат. Отримана структурно-логічна схема технічних вимог до проектування сучасних ТГ, яка включає три аспекти: проектний, експлуатаційний і економічний.

Ключові слова: турбогенератор, конкурентоспроможність, питомі масогабаритні параметри, структурно-логічна схема.

V.V. Shevchenko, A.M. Maslennikov. The scheme to reduce turbo-generator mass and dimensions. In order to maintain the competitiveness of turbo-generators (TG) it is necessary to reduce their mass and dimensions, that is to work in two main directions: to fulfil engineering, calculation and design work; to consider the possibility to provide technological processes at the enterprise where TG are produced. It is necessary to take into account the efficiency of additional expenses on extra tooling, materials and wages. These indicators form the cost of the production unit and determine the competitiveness of the TG. The structural logic of technical requirements for the design of modern TG was obtained. The formulations of requirements are the priority analysis that must be applied when choosing weight and size parameters of TG. The structural logic scheme of the design was compiled and it includes three main aspects: design, maintenance and cost. These aspects are the basis of the design of TG. In each section, the main point can be distinguished: 1) The design branch contains a list of demands to optimize the design of TG and the ways to manufacture it; 2) The maintenance branch deals with human resources management, staff qualification, wages and working conditions; 3) The cost defines the choice of a design and the quality; Proper quality of the TG can be achieved only by providing reliable communication of all the components of structural and logic scheme.

Keywords: turbo-generator, competitiveness, specific weight and size parameters, structural logic scheme.

Постановка проблемы. Перспективы развития отечественного турбогенераторостроения в полном объеме не определены. Традиционное наращивание мощности турбогенераторов в единице исполнения, что соответствует сценарию эволюционного развития электроэнергетики, не является единственным и безальтернативным вариантом, хотя и является перспективным. Экономическая, а в настоящее время и политическая, ситуация в стране заставляет определять пути развития отрасли, которая одна из немногих еще остается конкурентоспособной на мировом рынке. Для того чтобы оставаться на должном уровне при участии в тендерных торгах поставки электрооборудования (ЭО), необходимо знать современные требования и объекты спроса:

- после аварий на АЭС повысился интерес к турбогенераторам среднего класса мощности (200–500 МВт) и к разработке программ проведения их обслуживания на блоках ТЭС;

- при проектировании и изготовлении новых турбогенераторов указанного диапазона мощности необходимо вести работы по замене теплоносителя – следует полностью отказаться от использования водорода в объеме машин и заменить его воздухом;

- преобладающее направление не полной замены, а модернизации установленного на блоках оборудования (турбогенераторов) накладывает требование сохранения их габаритных размеров, что позволит использовать существующие фундаменты, не изменять геометрию систем обеспечения.

Кроме вышеперечисленного, важным показателем, определяющим в настоящее время качество турбогенератора (ТГ) и уровень его конкурентоспособности на мировых торгах, является удельный показатель мощности, т.е. отношение массы ТГ к мощности (кг/кВт). Для определения направлений работ по дальнейшему развитию теории проектирования ТГ и их изготовления необходимо учитывать все названные требования к выбору их параметров, к количественным и качественным закономерностям, связывающим электромагнитные нагрузки и геометрические параметры конструкции. Эти сведения могут быть получены на базе метода математического моделирования, типовой задачей которого является параметрический синтез [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Как указывают данные последних исследований, наиболее перспективным для решения поставленной нами задачи является метод

параметрического синтеза конструкций ТГ [1, 2], при котором задаются параметры и характеристики элементов машины, а дополнительные факторы учитываются соответствующими признаками. Вопросы параметрического синтеза конструкций находятся на стадии интенсивного развития, однако нет достаточно установившихся методов, которые были бы однозначно приняты для решения практических задач определения наилучших параметров, в частности, габаритов и массы ТГ. Обзор зарубежных публикаций показал, что используемые программы дают иллюстративное представление о проводимых исследованиях и не позволяют проводить практический выбор, [1-3]. Отсутствие широких исследований по разработке методик параметрического синтеза электромашиностроительных конструкций в отечественной науке объясняется сложной экономической ситуацией, отсутствием финансирования и недостатком повсеместного внедрения мощной вычислительной техники и современных технологий. Нет единых методов, подходов и тестов проведения сравнительных оценок выбора параметров турбогенераторов, что ставит под вопрос поддержания конкурентоспособности продукции отечественного электромашиностроения на мировом рынке.

Цель статьи – составить структурно-логическую схему технических требований к проектированию современных ТГ при решении приоритетной задачи – определить требования, которые позволяют выбирать необходимые (в нашем случае, минимальные) массогабаритные параметры ТГ.

Изложение основного материала. Период проектирования турбогенераторов (ТГ) условно можно разделить на два основных этапа: выполнение инженерно-проектировочных, расчетно-конструкторских работ и определение возможности обеспечения технологических процессов путем оценки уровня материально-технической базы предприятия-изготовителя [1, 2]. Кроме того необходимо учитывать экономичность выбираемых решений и целесообразность финансовых затрат на приобретение дополнительной технологической оснастки, конструкционных материалов, оплаты труда и т.п., что в результате формирует себестоимость производимой структурной единицы и также обуславливает конкурентоспособность будущего ТГ.

В результате анализа технической литературы и инженерно-конструкторской документации [4] была получена структурно-логическая схема технических требований к проектированию современных ТГ, в частности, к их массогабаритным параметрам. На рисунке приведена структурно-логическая схема процесса проектирования. Она состоит из трех основных разделов: проектного, эксплуатационного и экономического. Эти компоненты являются основой процесса проектирования ТГ. Высокий уровень проектирования и изготовления ТГ будет достигнут только при обеспечении надежной связи всех компонентов структурно-логической схемы. В свою очередь, в каждом разделе можно выделить основные ветви:

1) техническая ветвь содержит перечень направлений оптимизации конструкции ТГ с включением вопросов рационального управления процессом его изготовления (рисунок – слева направо);

2) управленческо-кадровая ветвь отображает состояние проектирования ТГ с учетом человеческого фактора, т.е. с учетом устанавливаемых временных рамок решения задач, уровня квалификации инженерного персонала, оплаты и условий труда и т.д.;

3) материально-снабженческая ветвь определяет требования оптимального использования и своевременного снабжения производства необходимыми материалами;

4) технологическая ветвь формулирует требования проектирования, задачами которой являются обеспечение необходимого уровня качества будущего турбогенератора.

В условиях рыночной экономики также необходимо учитывать возможности конкурирующих организаций, проблемы проведения интенсивной оптимизации и широкого внедрения новых возможностей проектирования. Например, на основе многолетнего опыта проектирования ТГ отечественными организациями (ГП завод «Электротяжмаш», г. Харьков) и доступного информационного потока о достижениях зарубежных предприятий нами было проанализировано проблемы, ограничивающие возможность создания ТГ с полным воздушным охлаждением в диапазоне средних мощностей и повышения мощности в заданных габаритах, таблица.

Решение вышеизложенных проблем для электромашиностроительной отрасли не ограничивается пересчетом по старым методикам проектирования, требуется исследование характеристик новых металлов и изоляционных материалов, возможностей обеспечения новых технологических процессов, внедрение современных принципов проектирования [5, 6].

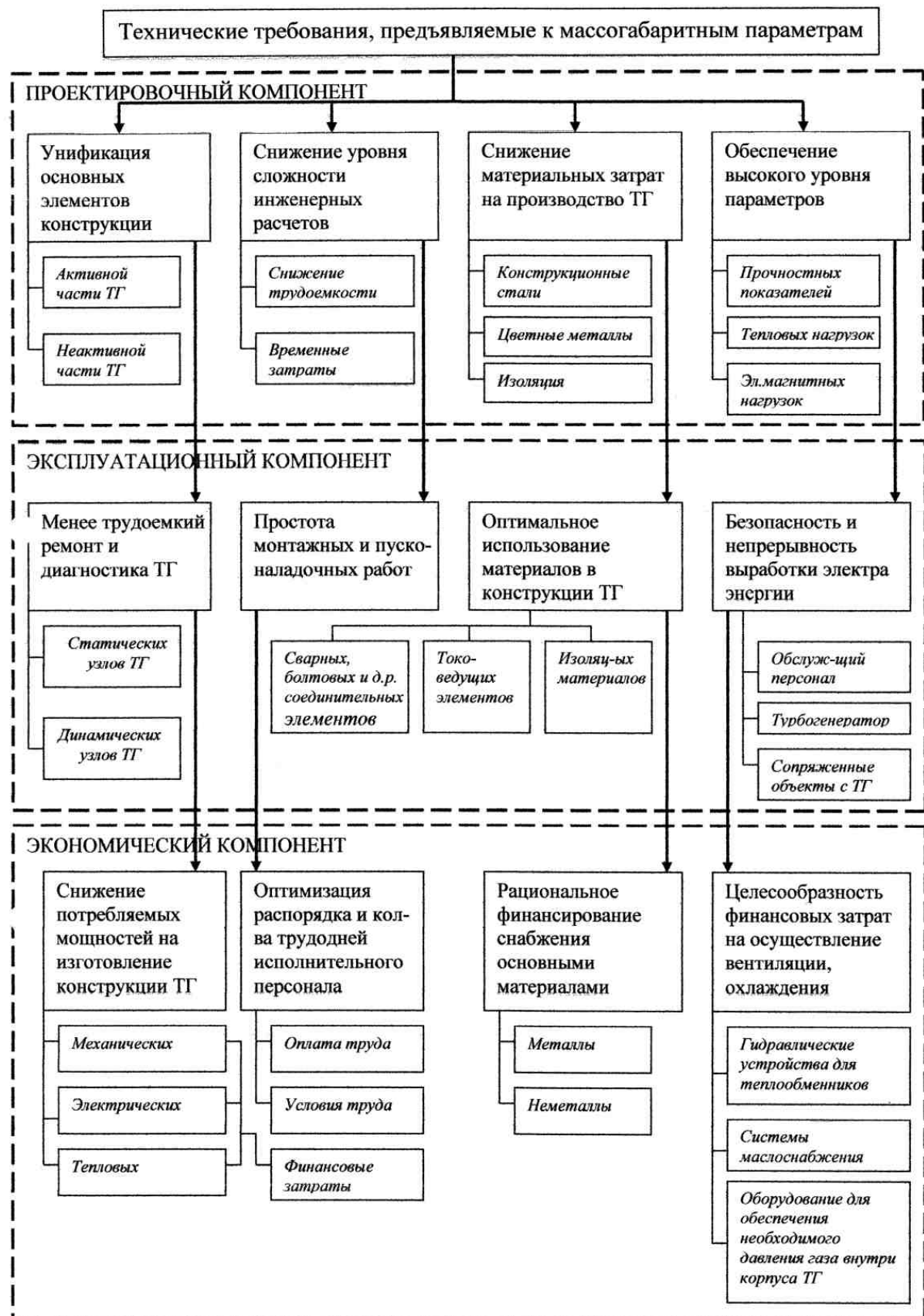


Рисунок – Структурно-логическая схема процесса проектирования ТГ

Таблица

Проблемы, ограничивающие возможность создания ТГ средних мощностей (200–500)
с полным воздушным охлаждением

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ	
Причина	Следствие
1) Неэффективность традиционных методов проектирования	Необходимо использовать современные методики инженерных расчетов
	Необходимо использовать передовые компьютерные технологии
	Требование высокой точности расчетных и опытных данных
	Требование подготовки высококвалифицированных специалистов
2) Необходимость применения новейших материалов и технологий в конструкции	Необходимо использовать конструкционные стали с высоким уровнем прочности и подлежащих новым технологиям обработки
	Необходимо использовать электротехнические стали с высокой магнитной проводимостью и термической стойкостью
	Необходимо использование немагнитных металлов высокого качества
	Необходимо использование изоляционных материалов с высокой теплопроводностью, электрическим сопротивлением и устойчивостью к механическим нагрузкам
3) Необходима высокая точность изготовления конструкции турбогенератора	Требование высокой точности изготовления паза ротора и статора, особенно при наличии вентиляционных каналов
	Обеспечение повышенной точности изготовления элементов неактивной зоны ТГ (корпуса, приставных коробов, защитных щитов, охладителей)
	Конструкция воздухоохладителя должна выбираться в зависимости от необходимого отвода тепла, т.е. электромагнитных нагрузок ТГ
	Обеспечение механической прочности и герметичности конструктивных элементов ТГ
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ	
Причина	Следствие
1) Затраты на изготовление конструкции ТГ	Необходимо использование дорогих, качественных материалов
	Необходимость использования драгоценных металлов для покрытий при борьбе с окислением
	Наличие сложных деталей и их высокая себестоимость изготовления
2) Снижение удельной мощности ТГ	Снижение КПД из-за увеличения потерь на вентиляцию
	Возможность применения только для ТГ среднего диапазона мощности
МОНТАЖНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ	
Причина	Следствие
1) Трудоемкость ремонтно-монтажных работ	Минимизация конструкции обуславливает появление труднодоступных мест для монтажа или ремонта
	Повышение чувствительности конструкции к запылению
	Ограниченная возможность замены материалов конструкции на подобные по свойствам
2) Появление новых требований при эксплуатации и контроле параметров	Возможность возникновения пожара в турбогенераторе
	Необходимость тщательной фильтрации воздуха
	Контроль проблемы возникновения и горения «короны» в лобовых частях обмоток турбогенератора, которые усиливаются из-за открытого защитного щита ТГ, что поддерживает процесс горения.

1) Квалификация кадров. Для выполнения условий параметрической оптимизации необходим высококвалифицированный кадровый инженерно-технический состав, который должен обладать соответствующим образованием и опытом работы в электромашиностроительной отрасли.

Дефицит квалифицированных специалистов (инженерных и рабочих кадров) ощущается во многих отраслях промышленности и энергетики. Кроме того, эта проблема усиливается демографическим спадом и обстановкой в стране. Уровень информационной структуры современного общества предъявляет более высокие требования к интеллектуальному потенциалу специалистов и поэтому существует необходимость изменения системы образования.

Необходимо внедрять «опережающее» образование путем использования инновационных технологий и методик обучения, усиления их действенности по развитию творческого мышления. Конкуренция существует в сфере деятельности, как крупных, так и малых компаний при их работе на внутреннем и внешнем рынке. Для достижения успеха предприятия необходим постоянный прогресс, т.е. необходимы человеческие ресурсы, которые легко ориентируются в новой ситуации, могут не только понимать все ее преимущества, но и использовать ее в своей деятельности [6]. Это общемировые требования, поэтому в сфере формирования профессиональной квалификации рабочих и инженеров ожидается выравнивание международных стандартов.

Успешные электромашиностроительные компании (Siemens, General Electric, ALSTON) уже осознали значимость хорошо обученных и компетентных рабочих и инженерных кадров, и то, что из-за новых условий производства, появления новых технологий и социальных изменений изменились требования к их квалификации.

Необходимость изменения системы подготовки специалистов также определяется глобализацией мирового сообщества, что требует для технических специалистов формирования межнациональной применимости, международной компетентности, знания иностранных языков, умения адаптироваться в условиях любого промышленного предприятия.

2) Автоматизация процесса проектировки и IT-технологии. Современное инженерно-техническое подразделение для внедрения инноваций (реконструкция, модернизация, оптимизация) должно обладать мощной компьютерной базой, обеспеченной современными расчетно-конструкторскими программами, программами САПР (Компас-3D, AutoCAD, Mathcad 14, EWB, Solid Works, Лира и др.). Кроме наличия материальной базы, необходимо умение использовать расчетно-графическое программное обеспечение, которое бы учитывало специфику производства предприятия и повышение доступности в мировое информационное пространство.

3) Использование опытного (экспериментального) проектирования. При параметрической оптимизации турбогенераторов необходимо опытное проектирование как самого, так и всех узлов турбогенератора [5, 6]: вентиляторов, подшипников, выбор технологий опрессовки сердечников, производства эвольвент, изоляций стержней обмотки и т. д.

4) Использование современной библиотечной базы.

5) Диагностика и испытания. Зарубежные методы и уровень диагностики, используемые испытательные приборы превосходят отечественные. Вопрос диагностики и проведения достоверных испытаний очень важен, особенно когда речь идет о ремонтной модернизации и капитальной реконструкции энергоблоков электростанций с осуществлением оптимизации турбогенераторного звена [3].

Экономическое состояние страны, как и мировой экономики, сделало невозможным своевременную замену ЭО электростанций. Даже для АЭС используют прием продления срока эксплуатации турбогенераторов: на АЭС США – в два раза (до 60 лет вместо установленных 30), на АЭС России – в полтора раза (до 45 лет) [3]. По оценкам специалистов, электрооборудование ТЭС Украины было изношено практически на 100 % уже к 2006 году [4]. Эксплуатация такого оборудования требует непрерывного контроля параметров, дополнительных видов испытаний при проведении ремонтов, особенно для обеспечения продления срока службы. И, соответственно, создания дополнительной программы испытаний и дополнительного диагностического оборудования.

6) Развитие сопутствующих отраслей промышленности. Сопутствующие отрасли промышленности влияют на качество производства отдельных узлов ТГ: изготовление поковок для неявнополюсных роторов, совершенствование приемов механообработки и технологии выполнения сварочных работ, производства изоляционных материалов и многое другое.

Выводы

1. Необходимо вести работы по снижению удельного массогабаритного параметра (кг/кВт) турбогенераторов в двух основных направлениях: совершенствование инженерно-проектировочных, расчетно-конструкторских работ и оценка выполнимости технологических процессов на материально-технической базе предприятия-изготовителя. При этом необходимо учитывать экономичность решений и целесообразность финансовых затрат на приобретение дополнительной технологической оснастки, материалов, оплаты труда, что формирует себестоимость ТГ и обеспечит конкурентоспособность будущего ТГ.

2. На промышленных предприятиях используют показатели, отражающие уровень технологической оснащенности, технологического обеспечения и их влияния на технико-экономические параметры производства. Многообразие требований привело к возникновению многочисленных способов определения уровня технологической оснащенности производства, иногда противоречащих одно другому и решающих только одну из многих проблем.

3. Наиболее приоритетными исследованиями необходимо считать установление рациональности использования различных материалов с точки зрения их прочности и жесткости; выбор экономичного материала и разработка наиболее прогрессивной технологии создания облегченных конструкций.

4. При проектировании современных ТГ следует решать вопрос замены водорода в системе охлаждения на воздух, а также повышения мощности в существующих габаритах при проведении реконструкции установленных на ТЭС турбогенераторов. Это требует полного представления о параметрической взаимосвязи всех параметров ТГ.

Список использованных источников:

1. Горюнов А.И. Метод структурного и параметрического синтеза и анализа энергоустановок / А.И. Горюнов, Р.Р. Ямалиев, Д.А. Ахмедзянов // Москва: Молодой ученый. – 2011. – №2. – Т. 1. – С. 16-19.
2. Дабагян А.В. Оптимальное проектирование машин сложных устройств / А.В. Дабагян – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.
3. Шевченко В.В. Критерий оптимизации массогабаритных параметров конструкций турбогенераторов / В.В. Шевченко, А.Н. Минко // Инновационные технологии в электроэнергетике и электромеханике. Сборник научно-технических трудов международной конференции. – Воронеж. – 2013. – С. 138-142.
4. Кузьмин В.В. Об оптимальном использовании материалов и снижении массогабаритных показателей торцевой зоны неактивных частей турбогенераторов / В.В. Кузьмин, В.В. Шевченко, А.Н. Минко // Вестник НТУ «ХПИ» Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – 2011. – № 6. – С. 106-112.
5. Кузьмин В.В. Оптимизация массогабаритных параметров неактивных частей турбогенераторов: монография / В.В. Кузьмин, В.В. Шевченко, А.Н. Минко. – Харьков: Монограф СПДФД Чальчев А.В., 2012. – 246 с.
6. Шевченко В.В. Определение критериев оценки состояния турбогенераторов для установления необходимости их замены или реабилитации / В.В. Шевченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика / НТУ «ХПІ». – Харків, 2012. – № 61 (967). – С. 44-50.

Bibliography:

1. Gorunov A.I. The method of structural and parametric synthesis and analysis of power plants / A.I. Goryunov, R.R. Yamal, D.A. Akhmedzyanov // Moscow: Young scientist. – 2011. – №2. – Vol. 1. – Pp. 16-19. (Rus.)
2. Dabaghyan A.V. Optimal design of machinery complex devices / A.V. Dabaghyan. – M.: ashinostrieniye, 1979. – 280 p. (Rus.)
3. Shevchenko V.V. Optimization criterion weight and size parameters of turbogenerators designs / V.V. Shevchenko, A.N. Minko // Innovative technologies in power generation and electrical engineering. Collection of Scientific and Technical Proceedings of the International Conference. – Voronezh. – 2013. – Pp. 138-142. (Rus.)
4. Kuzmin V.V. About the optimal use of materials and reducing the weight and size of the end zone

- inactive parts of turbogenerators / V.V. Kuzmin, V.V. Shevchenko, A.N. Minko // Vestnik NTU «KPI». The Energy and the heat engineering processes and the equipment. – 2011. – № 6. – Pp. 106-112. (Rus.)
5. Kuzmin V.V. Optimizing the weight and size parameters inactive parts of turbogenerators: monograph / V.V. Kuzmin, V.V. Shevchenko, A.N. Minko. – Kharkov: Monograph SPDFD Chalchev A.V., 2012. – 246 p. (Rus.)
 6. Shevchenko V.V. Definition of criteria for assessing the state of turbo-generators to establish their replacement or rehabilitation / V.V. Shevchenko // Proceedings of the National Technical University «KPI». Section : Problems of improving electrical machinery and apparatus. Theory and Practice / NTU «KPI». – Kharkov, 2012. – № 61 (967). – Pp. 44-50. (Rus.)

Рецензент: Т.П. Павленко
д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

Статья поступила 17.02.2015

УДК 621.316

© Поднебенная С.К.*

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В статье рассмотрены особенности компенсации реактивной мощности резкопеременных нагрузок. Для обеспечения компенсации реактивной мощности и минимизации потерь мощности в сети требуется устанавливать устройства компенсации. Установленная мощность таких устройств должна быть рассчитана с учетом несимметричного потребления / генерации реактивной мощности по фазам. В качестве устройств компенсации реактивной мощности можно использовать тиристорно-управляемые реакторы, тиристорно-переключаемые конденсаторы, гибридные компенсаторы реактивной мощности, активные компенсаторы (СТАТКОМы), «динамические конденсаторы». Проведен технико-экономический анализ, в результате которого установлены перспективы дальнейших исследований в направлении повышения энергоэффективности электрических сетей путем разработки эффективных устройств компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: реактивная мощность, устройство компенсации реактивной мощности, «динамический конденсатор».

Поднебенна С.К. До питання підвищення ефективності компенсації реактивної потужності. У даній статті розглянуті особливості компенсації реактивної потужності різкозмінних навантажень. Для забезпечення компенсації реактивної потужності та мінімізації втрат потужності в мережі потрібно встановлювати пристрої компенсації. Встановлена потужність таких пристроїв має бути розрахована з урахуванням несиметричного споживання / генерації реактивної потужності по фазах. В якості пристроїв компенсації реактивної потужності можна використовувати тиристорно-керовані реактори, конденсатори з тиристорним перемиканням, гібридні компенсатори реактивної потужності, активні компенсатори (СТАТКОМи), «динамічні конденсатори». Проведено техніко-економічний аналіз, в результаті якого встановлено перспективи подальших досліджень у напрямку підвищення енергоефективності електричних мереж шляхом розробки ефективних пристроїв компенсації реактивної потужності.

Ключові слова: реактивна потужність, пристрій компенсації реактивної потуж-

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, podsvet@gmail.com